THE IMPACT OF ADVANCED CERAMICS ON ONTARIO INDUSTRY

AN OVERVIEW

Technology Policy Branch
Ontario
Ministry of Industry, Trade and Technology

May 1988

INTRODUCTORY NOTE

The Province of Ontario recognizes the growing importance of advanced industrial materials to the future competitive position of many Ontario industries. Developments in advanced ceramics account for an important part of emerging competitive prospects. Accordingly, the Province commissioned a study in 1986 to assess developments in advanced ceramics technology and markets and the expected opportunities and impacts these hold for Ontario industry. The study was sponsored jointly by the Ministry of Industry, Trade and Technology and the Ministry of Northern Development and Mines.

Hains Technology Associates and MKM Consultants International were retained to perform this work. Their report, completed in the spring of 1987, built upon available technical and market information and drew upon 78 interviews with senior industry executives and university researchers. It surveys developments in the field and also identifies, analyses, and ranks advanced ceramics opportunities available to Ontario industry.

The following overview was prepared by the Ministry of Industry, Trade and Technology. It is based upon the findings of the Hains/MKM report as well as additional information and market developments. The full text of the Hains/MKM has been published by the Ministry of Northern Development and Mines as Industrial Mineral Background Paper 9.

TABLE OF CONTENTS

HIGHLIGHTS

1. INTRODUCTION 2

2. GENERAL PROPERTIES AND APPLICATIONS OF ADVANCED CERAMICS 2

3. ADVANCED CERAMICS ACTIVITIES MAJOR INDUSTRIALIZED COUNTRIES 3

4. INTERNATIONAL MARKETS FOR ADVANCED CERAMICS 8

5. PROJECTED IMPACTS OF ADVANCED CERAMICS ON ONTARIO INDUSTRY 11

6. OPPORTUNITIES FOR ONTARIO 14

7. CONSTRAINTS TO DEVELOPMENT 15

8. SOME REQUIREMENTS FOR ENHANCING THE DEVELOPMENT OF THE ADVANCED CERAMICS INDUSTRY 16

HIGHLIGHTS

1. Currently, manufacturing costs for many ceramics are too high and reliability of the materials is too low to compete directly with metals. However, it is expected that advanced ceramics will play an increasingly critical role in future industrial development.

2. Advanced R & D and commercialization programs are in place in Japan, the U.S. and Europe.

3. At present, Canada is largely a bystander with respect to the worldwide activity in advanced ceramics. There is a general lack of concern regarding the potential impact of ceramics and the business implications represented by the development of an advanced ceramics industry.

4. The industries in Ontario most likely to be affected by advanced ceramics are: auto parts and manufacturing process equipment.

5. Ontario has a number of advantages which may enhance the development of an advanced ceramics industry. Examples include: low and stable power rates, a base of research and technology expertise which can be developed, and, in the short-term, a favourable exchange rate (vis-a-vis Japan and the U.S.).

6. In particular, the province has identifiable niche opportunities in a number of specific advanced ceramics areas:

   - supply of powders such as beta silicon carbide, silicon nitride, boron nitride, silicates and aluminum nitride;
   - supply of sintering aids such as yttrium oxide, magnesium oxide and calcium oxide;
   - supply of structural ceramic auto parts;
   - supply of piezoelectric and other types of ceramic sensor materials and sensors;
   - supply of non-destructive testing equipment; and
   - supply of selected process industry structural ceramic components, especially for the pulp and paper and metallurgical industries.

7. To exploit emerging advanced ceramics opportunities, greater effort is required in the areas of increasing the general level of technology awareness (especially among manufacturers), establishing key linkages and technology transfer agreements with companies in the U.S., Japan and Europe as well as enhancing the generic research capability at the university level.

1). INTRODUCTION

New materials technologies have received a great deal of consideration in formulating science and technology policy in the advanced industrialized countries. Ontario's major trading partners are investing heavily in these technologies.

The new materials include various polymer and metal composites as well as advanced ceramics. They are at the heart of emerging high performance industrial and consumer products such as semi-conductors, aerospace and automotive components, gas turbines, opto-electronics and sensors.

This report provides a perspective on the general characteristics of advanced ceramics, their impact on key Ontario industries and opportunities for further developing the industry in Ontario.

2).GENERAL PROPERTIES AND APPLICATIONS OF ADVANCED CERAMICS

Ceramics are inorganic, non-metallic materials processed or consolidated at high temperatures. Today ceramics are divided into two groups--traditional and advanced. Traditional ceramics are made from naturally occurring raw materials and include such examples as bricks, porcelain, insulation, glass and jewelry. Advanced ceramics are distinguished from traditional ceramics in that they are made from synthetic raw materials and have superior properties and performance. Broadly speaking, there are two major groups of advanced ceramics--structural and functional ceramics. They are classified according to such properties as hardness, mechanical strength, melting, conductivity, corrosion and erosion resistance.

Structural ceramics are characterized by good mechanical and/or thermal properties such as hardness, toughness, resistance to corrosion and high temperature strength. Structural ceramics are grouped into oxide ceramics and non-oxide ceramics based on their technical and processing qualities. Some typical materials and their respective applications are shown in Table 1A.

Functional ceramics make use of the electrical, electronic, magnetic, optical, chemical, biological and nuclear properties of the materials. There are three main classes of functional ceramics, namely, electronic, chemical and biological, and nuclear. Examples of their applications are shown in Table 1B.

TABLE 1A: EXAMPLES OF STRUCTURAL CERAMICS AND THEIR APPLICATION

Oxide Ceramics	Examples of Applications
Aluminum Oxide	Cutting tools, rocket nozzles,
Zirconium Oxide	Bearings
Silicon Dioxide	Regenerators
Non-Oxide Ceramics	**Examples of Applications**
Silicon Carbide	Mechanical seals, burner nozzles
Silicon Nitride	Pump components, engine parts
Aluminum Nitride	Thermal insulation

TABLE 1B: TYPES OF FUNCTIONAL CERAMICS AND APPLICATIONS

Electronic Ceramics: These account for the largest advanced ceramics market. There are eight types of electronic ceramics, namely, dielectric, piezoelectric, pyroelectric, opto-electronic, ionic, semiconducting, magnetic, and insulating. Examples of applications include: microwave filters, trimmers, vibrators, oscillators, magnetic recording heads, computer peripherals, magnetic tapes, fire & smoke detectors, sodium lamps, and sensors.

Chemical/Biological Ceramics: Areas of applications include: corrosion protection, biochemical processing, dental and artificial bones.

Nuclear Ceramics: Applications include: controlling reactions, providing heat and radiation protection for the reactor, and encapsuling spent nuclear fuels.

3). ADVANCED CERAMICS ACTIVITIES IN MAJOR INDUSTRIALIZED COUNTRIES

A. Japan

Development and commercialization of advanced materials, and advanced ceramics in particular, is a centrepiece of Japan's industrial strategy. Industry and government are jointly mounting a committed national effort to lead the advanced ceramics market internationally. Japan is estimated to have captured about 50 per cent of the present world market for advanced ceramics and is considered to be the world leader in both the technology of electronic ceramics and in the manufacturing of components and integrated circuits using advanced ceramics.

The Japanese government, supported by the banking community, has made a commitment to ensure successful development of the industry by funding substantial research and development; through purchasing and pricing strategies; and by creating vigourous educational programs to provide the technical talent. Some of the important ceramics development projects sponsored by the Japanese government are listed in Figure 1.

B. United States

The lead enjoyed by the United States in basic science and development of high performance ceramics is under strong challenge by Japan.

In 1986, U.S. federal government support for structural ceramics R & D was $60 million. Funding supplied by various federal agencies is listed in Table 2.

To counteract the challenge posed by Japan, ceramics R & D activities in federal government laboratories has increased substantially A national centre on advanced ceramics has been created at Oak Ridge National Laboratory to provide assistance to industry for both new materials and process technologies. The federal government is also supporting industry-university centres to promote the development of advanced ceramics. The five universities with formal university-industry cooperative programs are:

. Massachusetts Institute of Technology
. Rutgers University
. Alfred University
. Case Western Reserve University
. Pennsylvania State University

FIGURE 1

ADVANCED CERAMICS PROGRAMS IN JAPAN SPONSORED BY MITI

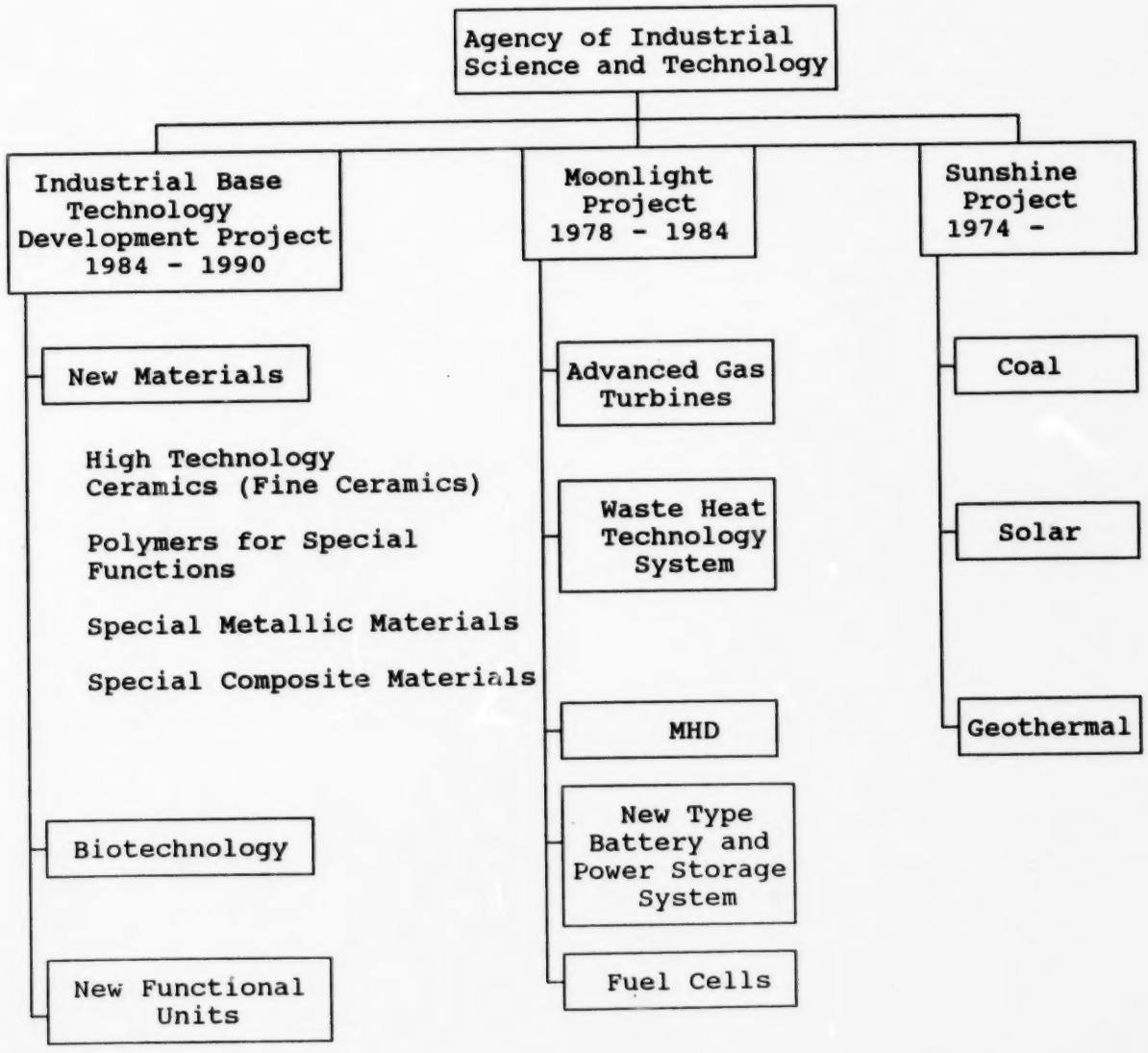


TABLE 2: STRUCTURAL CERAMIC TECHNOLOGY, U.S FEDERAL GOVERNMENT FUNDED R & D, 1986.

Agency	$(Million)
Department of Energy	27.7
NASA	4.5
National Science Foundation	3.6
National Bureau of Standards	2.2
Department of Defence	21.4
Total	59.4

Source: U.S. Department of Energy

Spending by U.S. industry is estimated to be about $100 million annually. This represents an increased commitment to the development and commercialization of advanced ceramic materials. It is estimated that almost 100 of the Fortune 500 companies in the U.S. are participating in advanced ceramics activities. Companies already in the ceramics field have also increased their activities. A large number of companies which have not traditionally been in ceramics have acquired existing ceramics companies and/or are establishing joint-ventures in the field.

C. West Germany

West Germany has embarked upon a 10-year program to develop and commercialize advanced industrial materials. Ceramics is a key part of this program. In 1985, about $55 million (Canadian) was spent by government on new advanced industrial materials R & D, of which about $10 million was for advanced ceramics.

D. United Kingdom

The U.K. has established two national programs. One program is devoted to the development of advanced ceramics for gas turbines, and the other for reciprocating engines. More than 30 industrial companies are participating in these programs.

E. France

The French Ministry of Industry and Research has begun a top-priority research program for new advanced ceramic materials and powders. Funding for this program is estimated to be about one billion Francs (Cdn.$200 million) spread over three years.

F. Sweden

Sweden is continuing its national program on the development of advanced ceramics for heat engine applications. The most noteworthy development in the past few years has been the commercial hot isostatic pressing technology developed by ASEA Ceramics. The company has licenced its technology to a number of U.S. and Japanese companies.

G. Canada

Advanced ceramics activities in Canada are fairly limited in comparison with our major industrial competitors. Most activities centre on ceramic powders and their applications.

The federal government sponsors work on advanced structural and functional ceramics at the National Research Council, the Department of Energy, Mines, and Resources (CANMET), the Defense Research Establishment, and Atomic Energy of Canada (AECL).

Work is also conducted at some of the provincial research organizations such as, the Ontario Research Foundation, the Nova Scotia Research Foundation, Ontario Hydro and Hydro Quebec.

Industrial research in ceramics is generally restricted to companies already in the field, although others have shown interest, especially some of the major resource companies.

Several universities have well established ceramics research programs. These include:

- McMaster University
- Queen's University
- Ecole Polytechnique
- Technical University of Nova Scotia
- University of British Columbia

The creation of the Canadian University-Industry Council on Advanced Ceramics (CUICAC) and the formation of the Canadian Advanced Materials Forum promise to enhance the awareness of the importance of advanced ceramics among industry, government and the general public.

In June, 1987, the Province announced the establishment of the Ontario Centre for Materials Research, one of seven Centres of Excellence in designated technology areas. OCMR will carry out fundamental and applied research in a wide range of advanced materials, including ceramics. The Centre is to consist of 35 principal investigators from five Ontario universities; five NSERC industrial research Chairs; and industrial affiliates representing 21 Ontario companies.

A summary of the major Ontario participants in advanced ceramics and their particular strengths and/or interests, is provided in Table 3.

TABLE 3

Ontario Ceramics Activities

Organization	Interests
Alcan Aluminum, Kingston	Alumina & Zirconia powder synthesis
Atomic Energy of Canada, Chalk River	Ceramic processing, NDE
Exolon Company of Canada, Thorold	Silicon carbide (crude)
General Abrasive (Canada), Niagara Falls	Silicon Carbide (crude)
Norton Co. of Canada, Niagara Falls	Silicon Carbide (crude)
Northern Pigment Co., Toronto	Iron oxide for hard & soft ferrites
Almax Industries, Lindsay	Piezoelectric ceramics, ionic conductors, battery separators
BM-Hitech	Piezoelectric ceramics, sensors, transducers
Epitek Electronics, Kanata	Custom hybrid circuits
Siltronics, Kanata	Custom hybrid circuits
Lakeside Electronics, Whitby	Piezoelectric ceramics, thick film pastes
Litton Systems Canada, Toronto	Custom hybrid circuits
Litton Canada, Butterfield div.	Carbide coated cutting tools
Magna International (Powerplex Technologies), Toronto	Sodium sulphur battery, alumina separators
Murata Erie North America	Multi-layer capacitors and other components
Neosid (Canada) Inc., Toronto	Soft ferrites
Electrofuel Manufacturing, Toronto	Boron nitride, aluminum nitride ceramics, battery separators
EYC Ceramics, Espanola	Alumina and zirconia ceramics
Hamilton Porcelains, Brantford	Silicate ceramics, ionic conductors
Industrial Ceramics, Mississauga	Alumina and zirconia silicate ceramics

TABLE 3 (Cont'd)

Ontario Ceramics Activities

Organization	Interests
Ja-Coat, Kingston	Plasma coatings
Vac-aero International, Oakville	Plasma coatings
Boart Canada, Mississauga	Cermet based hard rock drill bits
Kenrock Tools, Mississauga	WC and alumina based hard rock drill bits
Valenite Modco, Windsor	WC cutting tools
Defense Research Establishment, Ottawa	Ceramics for engines
CANMET, Ottawa	Dielectric and piezoelectric ceramics, ceramic processing, thermal properties of ceramics, ceramics for energy conversion
NRC, Ottawa	Semiconductors, thin films, optical ceramics, tribology, ceramics for engines, ceramic processing, composites, NDE
McMaster University, Hamilton	Mechanical properties, ionic conductors, bioglass, ceramic processing, NDE, piezoelectric ceramics
University of Toronto, Toronto	High temp oxide chemistry, fibre technology
Queen's University, Kingston	Ionic conductors, piezoelectric ceramics
Brock University, St. Catharines	Semiconducting films
University of Windsor, Windsor	Thin films
University of Waterloo, Waterloo	Mechanical properties, solar materials
Ont. Research Foundation, Mississauga	Sol-gel technology, ceramics for engines, plasma coatings, NDE, ionic conductors, piezoelectric ceramics, boron nitride, glass ceramics, fibre technologies, composites

4). INTERNATIONAL MARKETS FOR ADVANCED CERAMICS

Market studies conducted over the past several years have projected worldwide sales of advanced ceramics to double every 5 to 7 years.* According to Freedonia Group Inc., sales of advanced ceramics increased from $900 million (U.S.) in 1977 to $5.4 billion in 1986, an annual rate of 22 per cent (see Table 4). The high rate of growth is due primarily to rapidly developing technology matching the industrial demand for replacement of metals, especially in the area of electronics which accounted for nearly 90 per cent of the worldwide advanced ceramics sales (see Table 5). However, it is expected that in the 1990's the market growth rate will slow somewhat, due to stabilization of the commercialization stage. Projected sales are $12.2 billion by 1991 and $24.5 billion by 1995.

The U.S. and Japan are expected to continue as the major players in the advanced ceramics market. Together, they are expected to account for over 80 per cent of worldwide sales (see Table 6). While the U.S. leads in R & D spending, Japan is expected to invest more heavily in the engineering and commercialization aspects of advanced ceramics.

The Canadian market for advanced ceramics is likely to increase from a current level of less than $100 million per year to between $300-400 million (U.S.) in the next ten years. The Canadian growth rate is expected to be one of the highest among the OECD countries. While market opportunities for functional ceramics, primarily electronics, have been largely lost by Canadian industry, significant niche markets remain to be developed.

---

* Source: Ceramic Bulletin, Volume 66, No. 12, 1987.

TABLE 4: TOTAL WORLDWIDE ADVANCED CERAMICS SALES
1977 - 1995

	$ (Million)
1977	905
1986	5408
1991	12200
1995	24500

% change = 1986/77 = +498
1995/86 = +353

Source = The Freedonia Group, Inc.

TABLE 5: WORLDWIDE ADVANCED CERAMICS SALES < BY PRODUCT,
1977, 1986 and 1995

	$ Million			% of Total		
Product	1977	1986	1995	1977	1986	1995
Electronics	813	4808	21375	89.8	88.9	87.2
Cutting Tools	58	433	1625	6.4	8.0	6.6
Heat Engines	0	Neg	675	0	0	2.8
Other	34	167	825	3.8	3.1	3.4
Total	905	5408	24500	100.0	100.0	100.0

Source = The Freedonia Group, Inc.

TABLE 6: WORLDWIDE ADVANCED CERAMICS SALES BY REGION, 1977-95

Region	$ Million			% of Total		
	1977	1986	1995	1977	1986	1995
Japan	398	2587	12100	44.0	47.8	49.4
U.S.	362	2024	8650	40.0	37.4	35.3
W. Germany	42	254	1100	4.6	4.7	4.5
U.K.	38	167	825	4.2	3.1	3.4
France	32	151	675	3.5	2.8	2.8
Other W Europe	15	90	400	1.7	1.7	1.6
Canada	10	72	375	1.1	1.3	1.5
Other	8	63	375	0.9	1.2	1.5

Region	% Change in Sales	
	1986/77	1995/86
Japan	+550	+368
U.S.	+459	+327
W. Germany	+505	+333
U.K.	+339	+394
France	+372	+347
Other W Europe	+500	+344
Canada	+620	+420
Other	+688	+495
Total	+498	+353

Source: The Freedonia Group, Inc.

5. PROJECTED IMPACTS OF ADVANCED CERAMICS ON ONTARIO INDUSTRY

A. Automotive Engine Manufacturers and Suppliers

For some time, ceramic engine parts have been under active development by the major automobile manufacturers and some of the major component suppliers. In Japan, a few parts are already in commercial production, albeit in limited volume. However, advanced structural ceramics is not likely to represent a major application in automotive engines within the next 10-15 years. The problems associated with the development of low cost, high volume, reliable advanced ceramics parts for auto engines are formidable. Advanced ceramics will be incorporated in auto engines only for selected applications where their superior heat and/or wear resistance and light weight provide increased benefits to both the manufacturer and the consumer. In the near term, these applications will be restricted to parts such as rocker arm components, exhaust port liners, valves, and turbocharger rotors. The volume represented by these components is small in terms of sales value. Demand for ceramic auto parts in North America is estimated to be only about $155-160 million (in 1985 U.S. dollars) by 1995.

The introduction of ceramic engine parts in the automobile sector is expected to result in loss of business for some Ontario suppliers of raw materials (e.g. alloy steels for valves and finished parts).

Imports of ceramic engine parts will be both in the form of parts themselves and in complete vehicles and engines. Opportunities to alleviate this negative impact, at least in the next 10-15 years, are believed to be slight as the imports are likely to come from Japan and Europe. The Asian car manufacturers are highly integrated in terms of the manufacture of engine components, and have well developed research programs with ceramic suppliers. These development programs are generally more advanced than those in North America. Thus, it may be somewhat difficult for North American auto parts manufacturers to penetrate the Asian market for ceramic engine parts given these established relationships. Similar comments also apply to the European market.

The negative impact of ceramic engine parts on Ontario may also be felt by current Ontario producers of metallic parts. The current suppliers of valve steel and of powder metal parts may also see a negative impact on their business. The impact will be more severe on the parts producers than on the raw material producers, as the tonnage of steel and powder metal used in manufacture of valve train components is relatively small.

On the positive side, the introduction of ceramic engine components could stimulate the development of new businesses such as the supply of ceramic powders and processing equipment.

There is also a substa[illegible]ial commitment from the NRC for both short and long term support for ceramic auto engine parts development. Similar commitments can also be found in the commercial sector, such as TRW/Norton, Champion Spark Plug, Ford, Chrysler, GM, and Cummins Engines.

B. Gas Turbine and Aircraft Engines Manufacturers

The pace of development in this market is likely to be slower than the auto engine sector. The direct impact on gas turbine engines in Ontario will be slight due to the limited amount of manufacturing of turbine engine components in the province. Indirect impacts may be more significant for nickel-based super alloy materials. However, it does not appear that the impact will be significant until after the year 2015.

C. Process Industry and Equipment Suppliers

Applications of advanced ceramics to process equipment components are expected to grow more rapidly than in heat engines and will become commonplace within the next 10-15 years. Ceramic process equipment can have a significant impact on improving the efficiency and reducing the costs of a wide variety of process industries such as chemical, pulp and paper, steel and non-ferrous metals because of savings in fuel consumption and in plant maintenance expenditures. In Ontario, widespread use of advanced ceramic process equipment components could save up to 2 per cent of total annual fuel, repair and maintenance costs (about $5 billion). Assuming a payback period of three years, ceramic components could represent a market of about $30 million.

At the present time, most of the components for process industry equipment and machinery are imported. Development and commercialization of ceramic parts for process industry machinery is significantly more advanced in Europe and in Japan than in North America. It is likely that Canadian industry will import the finished parts should the materials gain widespread acceptance.

D. Bearings Manufacturers

Studies conducted in the U.S. have estimated that ceramic bearing markets could be worth about $300 million by the year 2000. However, it is unlikely that existing bearing manufacturers will extend their product range to include ceramic bearings. The technology of manufacture of these products is very complex and the market dynamics of the industry make entry of a new competitor extremely difficult.

E. Cutting Tools and Dies Industry

As with the process equipment sector, the use of advanced ceramics in cutting tool and die manufacturing is expected to grow more rapidly that in heat engines. The main impact is expected to: improve the efficiency of the machinery and extrusion industries; reduce the demand for tool and die steels from steel mills; and, increase imports of ceramic cutting tools and dies.

Ontario is unlikely to develop a significant ceramic cutting tool and extrusion die industry, at least in the short term. There is sufficient foreign capacity captive to existing market participants to preclude the development of a Canadian base of supply. However, Ontario may be able to participate through the supply of powders for the manufacture of tools and dies.

F. Metal Industry

Advanced ceramics do not represent a significant threat to the metal producing and fabricating industries within the next 10-15 years. Metals still command a fairly significant cost advantage over advanced ceramics in many major applications. For example, the manufacturing cost of advanced ceramic components, particularly for auto engine applications, is estimated to be U.S.$100-$150 per kg. of finished component; compared to U.S.$10-15 per kg. for metal components. Metal matrix composites (MMC) based on ceramic fibre (or particular substrates) can significantly enhance the performance of the existing metals. More widespread use of these composites may open up new market for traditional metals producers.

6). OPPORTUNITIES FOR ONTARIO

Canadian markets for advanced ceramics products could reach between $300-$400 million (U.S.) in the next ten years. However, nearly all the opportunities lie in structural ceramics products. Opportunities in the functional ceramics market, primarily electronics, have, with some notable exceptions, largely past Canadian industry by, although there may still be some significant niche markets remaining.

Automotive uses are not expected to be the dominant structural applications in the next 10-15 years and the opportunities here will be confined almost exclusively to small non-rotating parts of gasoline and diesel engines and a very limited number of ceramic turbocharger rotors. More significant and near term opportunities lie with the supply of other structural parts such as process equipment components and the supply of powders and specialized functional ceramics. In particular, Ontario industry is competitively positioned to develop its capabilities for the supply of the following products:

- Beta-silicon carbide powder
- Silicon nitride powder
- Boron nitride powder
- Aluminum nitride powder
- Sintering aids such as yttrium oxide powder
- Silicates for structural and electrical products
- Piezoelectric ceramics and sensor based products
- Semi-conductor materials such as gallium arsenide
- Non-destructive testing equipment
- Selected process industry equipment
- Selected structural ceramic auto parts

Ontario's competitive attractiveness in these areas is based upon: a favourable exchange rate; relatively low energy costs; resident expertise in some key areas (e.g. NRC and ORF in ceramic auto engine and non-destructive testing equipment; Electrofuel Manufacturing in aluminum nitride, as well as some producers of boron nitride); and raw material availability (e.g., pure silica, some of the rare earth elements for producing sintering aids and semi-conductor materials).

7). CONSTRAINTS TO DEVELOPMENT

The following are some of the major constraints to development of an Ontario/Canadian advanced ceramics industry.

- Currently, manufacturing costs for ceramics are too high and the reliability of the materials is too low to compete directly with metals. Both powder and finished part costs must decline substantially before ceramics will achieve widespread market acceptance. Components need to be made substantially more reliable as well as cheaper and easier to use.

- Technology development is taking place at a very fast pace in other countries and Canada is a late starter in developing national research programs in advanced ceramics. This is especially true with respect to applied research concerned with ceramic powders and component process technologies.

- Canada lacks a strong industrial or defence base for the development of advanced ceramic materials and processes. Other countries have significant industrial and/or defence support for research and product development. Currently, the Canadian industrial base is too small to support large-scale ceramics adoption. Until more merchant powder and ceramic fibre producers enter the market, major end-user industries will be reluctant to commit to large scale use of ceramic components for strategic reasons. These companies do not want to become too dependent upon a small number of suppliers of ceramic raw materials. In addition, product development in the advanced ceramics industry is very expensive and many of the Canadian companies are not large enough to finance product development.

- The foreign location of major end-use markets and manufacturers of ceramic components, combined with a national emphasis on development of advanced ceramics in many countries, is another barrier to the development of advanced ceramics industries in Canada.

- Canadian companies have been fairly slow to license ceramics technology. U.S. companies, in contrast, have been very active in establishing licensing and joint-venture agreements with Japanese and European companies. While in most cases these agreements cover both Canada and the U.S., U.S. patent laws have been changed to allow process patents to cover products made from materials derived from the patented process. This could be a significant non-tariff barrier to Canadian companies selling finished products into the U.S..

- Technological awareness of advanced ceramics is very low in Canada. Most Canadian industrial companies, with the exception of advanced ceramics manufacturers, are not aware of the developments in advanced ceramics.

- Lack of an engineering data base for ceramic powders and finished components inhibits the use of advanced ceramics. Efforts are underway in the U.S., Japan and Europe to develop data on the engineering properties of ceramic powders and components and Canada will need access to these data if domestic capability is to be expanded.

- The very low level of engineering design responsibility within the Canadian operations of many principal end-use industries (e.g., automotive, machinery and equipment) also hinders the development of applications for ceramics in Ontario. Without in-house engineering design responsibility in Canada, the development of the necessary linkages between parts suppliers and end-users becomes very difficult at the early adoption stage of product development. And without these linkages, Canadian ceramics suppliers and end-users will be at a disadvantage in comparison to their competitors in the U.S., Europe and Japan.

- The availability of processing techniques and equipment is still limited. Technological advances that allow the manufacture and processing of a wider range of powders and less expensive equipment for the manufacture of components are required.

- There is a shortage of design engineers knowledgeable in ceramics and mechanical design. Until there is a larger group of engineers with a knowledge of the properties and performance of advanced ceramics, the use of the new materials for structural components will remain limited.

8). SOME REQUIREMENTS FOR ENHANCING THE DEVELOPMENT OF THE ADVANCED CERAMICS INDUSTRY

A. Increased Technology Awareness

There is a low level of awareness in Ontario industry of the opportunities and challenges posed by advanced ceramics. There is a need to increase the level of technical and market knowledge held by Ontario industry regarding advanced ceramic materials and products.

B. Development of Strategic Linkages

Technology and markets for advanced ceramics are evolving rapidly. Strategic linkages between companies in the U.S., Japan, and western Europe are being formed to exploit these markets and develop the necessary technology. Successful development of an enhanced Ontario-based advanced ceramics capability will be dependent upon participation in these international activities.

C. Enhanced Technology and Product Development

Advanced ceramics technology and product development is expensive. Many Ontario companies lack the human and financial resources to support effective research. Generic research at the university level needs to be increased and an expansion of ceramics engineering and science programs at Ontario universities is essential.

L'EFFET DES CÉRAMIQUES DE POINTE SUR L'INDUSTRIE EN ONTARIO

APERÇU

Direction de la politique technologique
Ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie
de l'Ontario

Mai 1988

TABLE DES MATIÈRES

AVANT PROPOS

1. INTRODUCTION 2

2. PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES ET UTILISATIONS DES CÉRAMIQUES DE POINTE 2

3. TRAVAUX CONCERNANT LES CÉRAMIQUES DE POINTE DANS LES PRINCIPAUX PAYS INDUSTRIALISÉS 4

4. MARCHÉS INTERNATIONAUX POUR LES CÉRAMIQUES DE POINTE . 9

5. EFFETS PRÉVUS DES CÉRAMIQUES DE POINTE SUR L'INDUSTRIE EN ONTARIO 12

6. POSSIBILITÉS POUR L'ONTARIO 15

7. OBSTACLES AU DÉVELOPPEMENT 16

8. QUELQUES CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PROMOUVOIR LE DÉVELOPPEMENT DE L'INDUSTRIE DES CÉRAMIQUES DE POINTE 18

1) INTRODUCTION

Les pays industrialisés accordent une grande attention aux nouvelles technologies dans le domaine des matériaux lorsqu'il s'agit de formuler des politiques scientifiques et technologiques. Les principaux partenaires commerciaux de l'Ontario investissent fortement dans ces technologies.

Les nouveaux matériaux comprennent divers polymères et composés métalliques ainsi que les céramiques de pointe. Ils sont au coeur des nouveaux produits de haute performance pour l'industrie ou le grand public comme les semiconducteurs, les composants automobiles ou pour l'aérospatiale, les turbines à gaz, l'opto-électronique et les capteurs.

Ce rapport met en perspective les caractéristiques générales des céramiques de pointe, leur effet sur les principaux secteurs de l'industrie en Ontario et les possibilités qu'elles offrent pour le développement industriel dans la province.

2) PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES ET UTILISATIONS DES CÉRAMIQUES DE POINTE

Les céramiques sont des matériaux non organiques, non métalliques, traités ou renforcés à haute température. De nos jours, les céramiques sont divisées en deux groupes : les céramiques traditionnelles et les céramiques de pointe. Les céramiques traditionnelles sont fabriquées à partir de matières premières d'origine naturelle et interviennent par exemple dans les briques, la porcelaine, l'isolation, le verre et la bijouterie. Les céramiques de pointe se distinguent des céramiques traditionnelles en ce sens qu'elles sont fabriquées à partir de matières premières synthétiques et qu'elles ont des propriétés et performances supérieures. En termes généraux, il existe deux groupes principaux de céramiques de pointe : les céramiques structurelles et les céramiques fonctionnelles. On les classe en fonction de certaines propriétés comme la dureté, la résistance mécanique, le point de fusion, la conductibilité, la résistance à la corrosion et à l'érosion.

Les céramiques structurelles sont caractérisées par de bonnes propriétés mécaniques et thermiques comme la dureté, la résistance, la résistance à la corrosion et aux hautes températures. On groupe les céramiques structurelles en oxydes et non-oxydes, en fonction de leurs propriétés techniques et de leurs qualités de traitement. Au tableau 1A figurent certains matériaux types appartenant à cette catégorie avec leurs utilisations respectives.

Les céramiques fonctionnelles utilisent les propriétés électriques, électroniques, magnétiques, optiques, chimiques, biologiques ou nucléaires des matériaux. Il existe trois classes principales de céramiques fonctionnelles qui sont les céramiques électroniques, les céramiques chimiques et biologiques et les céramiques nucléaires. Le tableau 1B donne quelques exemples de leurs utilisations.

TABLEAU 1A : EXEMPLES DE CÉRAMIQUES STRUCTURELLES AVEC LEURS UTILISATIONS

Céramiques oxydes	Exemples d'utilisations
Oxyde d'aluminium	Outils à couper, buses de fusée
Oxyde de zirconium	Roulements
Bioxyde de silicium	Régénérateur
Céramiques non oxydes	**Exemples d'utilisations**
Carbure de silicium	Joints mécaniques, becs de brûleurs
Nitrure de silicium	Composants de pompes, pièces de moteurs
Nitrure d'aluminium	Isolation thermique

TABLEAU 1B : TYPES DE CÉRAMIQUES FONCTIONNELLES AVEC LEURS UTILISATIONS

Céramiques électroniques : Elles représentent le secteur le plus important du marché des céramiques de pointe. Il existe huit types de céramiques électroniques : diélectriques, piézoélectriques, pyroélectriques, opto-électroniques, ioniques, semi-conductrices, magnétiques et isolantes. Leurs utilisations comprennent par exemple : filtres micro-ondes, écréteurs, vibrateurs, oscillateurs, têtes d'enregistrement magnétiques, périphériques d'ordinateur, bandes magnétiques, détecteurs d'incendie et de fumée, lampes à sodium et capteurs.

Céramiques chimiques/biologiques : Leurs domaines d'utilisations sont, entre autres, la protection contre la corrosion, le traitement biochimique, la chirurgie dentaire et les os artificiels.

Céramiques nucléaires : Leurs utilisations comprennent : les réactions de contrôle, l'approvisionnement en chaleur et la protection contre les rayonnements pour le réacteur, et la mise en capsules des combustibles nucléaires irradiés.

3) TRAVAUX CONCERNANT LES CÉRAMIQUES DE POINTE DANS LES PRINCIPAUX PAYS INDUSTRIALISES

A. Japon

La mise au point et la commercialisation des matériaux de pointe, et en particulier des céramiques de pointe, est au centre de la stratégie industrielle du Japon. L'industrie et le gouvernement se sont engagés dans un effort national en vue de placer le Japon en tête du marché international des céramiques de pointe. On estime que le Japon a capturé près de 50 % du marché mondial actuel pour les céramiques de pointe et on considère qu'il occupe la première place au niveau mondial en ce qui concerne la technologie des céramiques électroniques et la fabrication des composants et circuits intégrés utilisant des céramiques de pointe.

Le gouvernement japonais, soutenu par les banques, s'est engagé à assurer leur développement industriel par un financement considérable des activités de recherche et développement, par des stratégies d'achat et d'établissement des prix et en créant des programmes éducatifs intensifs pour disposer des compétences techniques. À la figure 1 sont donnés quelques projets importants de développement des céramiques organisés par le gouvernement japonais.

B. États-Unis

La première place occupée par les États-Unis en science fondamentale et dans la mise au point de céramiques de haute performance est fortement menacée par le Japon.

En 1986, le gouvernement fédéral américain avait accordé une aide de 60 millions de dollars destinés aux activités de R & D dans le domaine des céramiques structurelles. Les subventions fournies par divers organismes fédéraux sont indiquées au tableau 2.

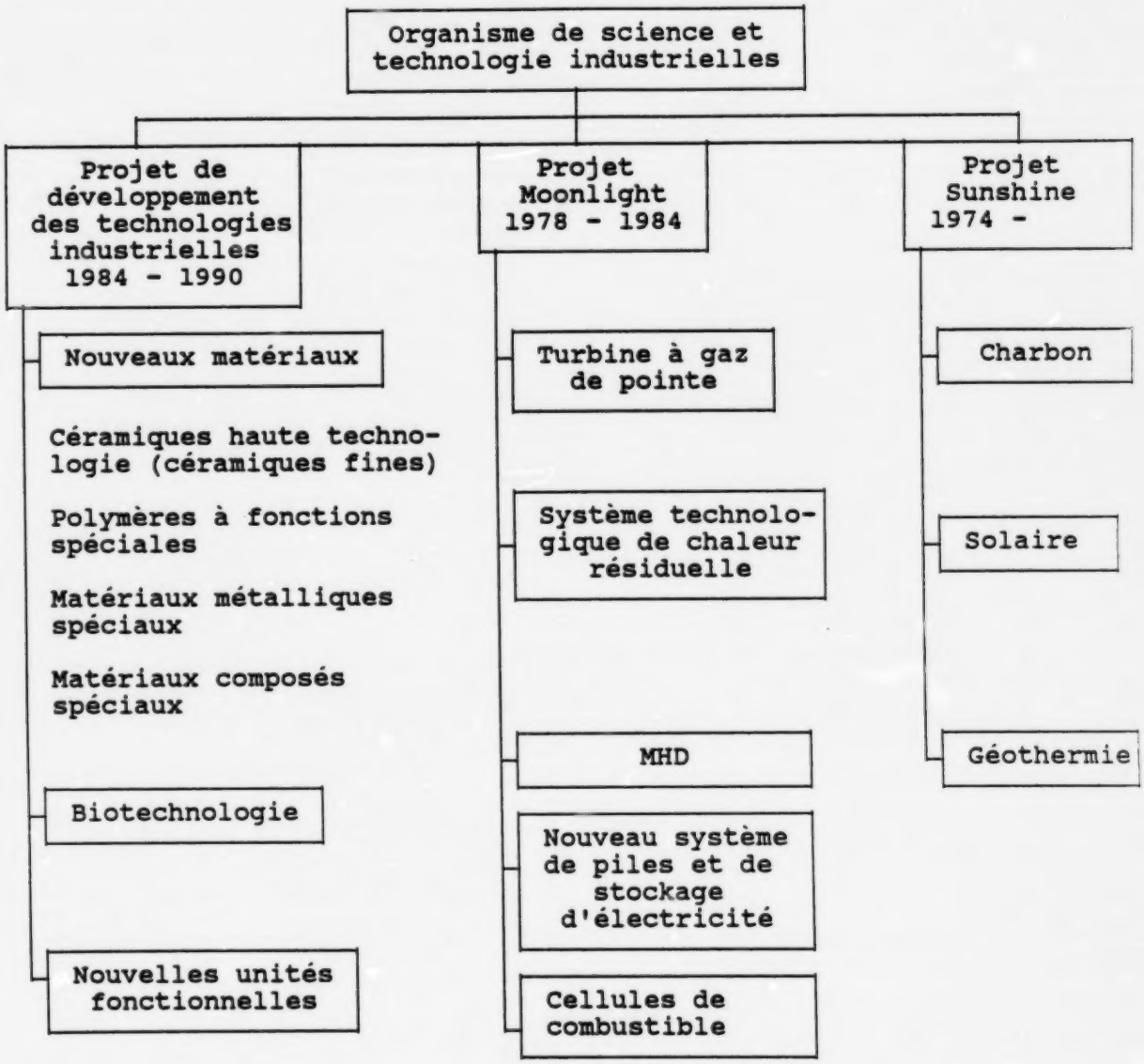
En réaction au défi posé par le Japon, les activités de R & D dans le domaine des céramiques ont considérablement augmenté dans les laboratoires du gouvernement fédéral. Dans le cadre du Oakridge National Laboratory a été créé un centre national de recherche sur les céramiques avancées qui doit servir de centre d'assitance pour l'industrie dans le domaine des nouveaux matériaux et des procédés technologiques. Le gouvernement fédéral accorde également son soutien à des centres industriels, universitaires, pour promouvoir le développement des céramiques de pointe. Dans les cinq

universités suivantes existent des programmes officiels de coopération entre université et secteur privé :

. Massachusetts Institute of Technology
. Rutgers University
. Alfred University
. Case Western Reserve University
. Pennsylvania State University

FIGURE 1

PROGRAMMES ORGANISÉS PAR MITI AU JAPON
DANS LE DOMAINE DES CERAMIQUES DE POINTE



AVANT-PROPOS

La province de l'Ontario reconnaît l'importance de plus en plus grande des matériaux industriels de pointe pour la future position concurrentielle de nombreux secteurs industriels en Ontario. Les progrès réalisés dans le domaine des céramiques de pointe représentent une part importante des perspectives prometteuses qui se font jour. En conséquence, la province a demandé en 1986 que soit réalisée une étude portant sur l'évaluation des progrès technologiques dans le domaine des céramiques de pointe ainsi que des marchés et des possibilités et répercussions probables de ces matériaux pour l'industrie en Ontario. L'étude a été parrainée conjointement par le ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie et par le ministère du Développement du Nord.

La réalisation de ce travail a été confiée à Hains Technology Associates et MKM Consultants International. Au printemps 1987, ils ont remis leur rapport, établi à partir des données techniques et commerciales disponibles et de 78 entrevues avec des cadres supérieurs de l'industrie et des chercheurs universitaires. Ce rapport répertorie les progrès réalisés dans le domaine en indiquant, en analysant et en classant les possibilités offertes par les céramiques de pointe pour l'industrie ontarienne.

L'aperçu qui suit a été rédigé par le ministère de l'Industrie, du Commerce et de la Technologie. À partir des constatations du rapport Hains/MKM ainsi que de renseignements complémentaires et de certains développements commerciaux.

TABLEAU 2 : TECHNOLOGIE DES CÉRAMIQUES STRUCTURELLES, ACTIVITÉS DE R & D FINANCEES PAR LE GOUVERNEMENT FEDERAL DES ETATS-UNIS, 1986.

Organisme	Millions de dollars
Department of Energy	27,7
NASA	4,5
National Science Foundation	3,6
National Bureau of Standards	2,2
Department of Defence	21,4
Total	59,4

Source : U.S. Department of Energy

On estime à environ 100 millions de dollars par an les dépenses effectuées par l'industrie américaine. Cela représente un montant de plus en plus important consacré au développement et à la commercialisation des céramiques de pointe. On estime que parmi les compagnies Fortune 500 aux Etats-Unis, près de 100 participent à des activités dans le domaine des céramiques de pointe. Les compagnies appartenant déjà à ce domaine ont également augmenté leurs activités. Un grand nombre de compagnies qui traditionnellement n'appartiennent pas au domaine ont acquis des compagnies travaillant dans les céramiques de pointe ou collaborent à des entreprises en coparticipation dans le domaine.

C. Allemagne de l'Ouest

L'Allemagne de l'Ouest a entrepris un programme de 10 ans pour la mise au point et la commercialisation des matériaux industriels de pointe dont les céramiques sont une part importante. En 1985, le gouvernement a consacré près de 55 millions de dollars (canadiens) à des travaux de R & D sur les matériaux industriels de pointe dont 10 millions de dollars étaient consacrés aux céramiques de pointe.

D. Royaume-Uni

Le Royaume-Uni a mis sur pied deux programmes nationaux. L'un est consacré au développement des céramiques de pointe pour les turbines à gaz et l'autre pour les moteurs alternatifs. Plus de 30 compagnies participent à ces programmes.

E. France

En France, le ministère de l'Industrie et de la Recherche a entrepris un programme de recherche à haute priorité sur les nouveaux matériaux et poudres dans le domaine des céramiques de pointe. Le financement de ce programme est estimé à un milliard de francs environ (200 millions de dollars canadiens) sur trois ans.

F. Suède

La Suède poursuit son programme national de développement des céramiques de pointe pour les moteurs thermiques. Le développement le plus remarquable au cours des dernières années a été le procédé de compression isostatique mis au point par ASEA Ceramics. La compagnie a octroyé une licence à plusieurs compagnies américaines et japonaises pour cette technique.

G. Canada

Les travaux réalisés au Canada sur les céramiques de pointe sont assez limités en comparaison de nos principaux concurrents industriels. La plupart des activités sont concentrées sur les poudres céramiques et leurs utilisations.

Le gouvernement fédéral subventionne des travaux sur les céramiques structurelles et fonctionnelles réalisés au

Conseil national de recherches, au ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources (CANMET), au Centre de recherches pour la Défense et à l'Énergie atomique du Canada (EACL).

Certains organismes provinciaux de recherche effectuent des travaux dans le domaine, comme la Fondation de recherche de l'Ontario, la Fondation de recherche de la Nouvelle-Écosse, Ontario-Hydro et Hydro-Québec.

La recherche industrielle dans le domaine des céramiques se limite en général à des compagnies appartenant déjà au domaine, bien que d'autres compagnies se montrent intéressées, en particulier certaines grandes compagnies travaillant dans le domaine des ressources.

Plusieurs universités ont des programmes bien établis de recherches sur les céramiques. Ce sont :

- McMaster University
- Queen's University
- École polytechnique
- Technical University of Nova Scotia
- University of British Columbia

La création du Conseil canadien des universités et de l'industrie sur les céramiques de pointe (CUICAC) et la formation du Forum canadien sur les matériaux de pointe promettent d'accroître la sensibilisation envers les céramiques de pointe auprès de l'industrie, du gouvernement et du grand public.

En juin 1987, la province a annoncé la création du Centre de recherche sur les matériaux de l'Ontario, qui fait partie de sept centres d'excellence dans des domaines technologiques précis. Ce centre (OCMR) va se consacrer à la recherche fondamentale et appliquée sur une vaste gamme de matériaux de pointe, y compris les céramiques. Il regroupera 35 chercheurs principaux venant de cinq universités ontariennes, cinq chargés de recherche industrielle au CRSNG et des délégués du secteur privé représentant 21 compagnies ontariennes.

Le tableau 3 donne un résumé des principaux participants aux activités concernant les céramiques de pointe en Ontario avec les spécialités ou les intérêts de chacun.

TABLEAU 3

Activités sur les céramiques en Ontario

Organismes	Intérets
Alcan Aluminium, Kingston	Synthèse des poudres d'alumine et de zirconium
Énergie atomique du Canada, Chalk River	Traitement des céramiques, évaluations non destructives
Exolon Company of Canada, Thorold	Carbure de silicium (brut)
General Abrasive (Canada), Niagara Falls	Carbure de silicium (brut)
Norton Co. of Canada, Niagara Falls	Carbure de silicium (brut)
Northern Pigment Co., Toronto	Oxyde de fer pour les ferrites durs et doux
Almax Industries, Lindsay	Céramiques piézoélectriques, conducteurs ioniques, séparateurs de batteries
BM-Hitech	Céramiques piézoélectriques, capteurs, transducteurs
Epitek Electronics, Kanata	Circuits hybrides sur commande
Siltronics, Kanata	Circuits hybrides sur commande
Lakeside Electronics, Whitby	Céramiques piézoélectriques, pâtes épisses pour pellicule
Litton Systems Canada, Toronto	Circuits hybrides sur commande
Litton Canada, division de Butterfield	Outils à couper revêtus de carbure
Magna International (Powerplex Technologies), Toronto	Batteries sodium-soufre, séparateurs en alumine
Murata Erie North America	Condensateurs multicouches et autres composants

TABLEAU 3 (suite)

Activités sur les céramiques en Ontario

Organismes	Intérêts
Neosid (Canada) Inc., Toronto	Ferrites doux
Electrofuel Manufacturing, Toronto	Nitrure de bore, céramiques au nitrure d'aluminium, séparateurs de batteries
EYC Ceramics, Espanola	Céramiques à l'alumine et au zirconium
Hamilton Porcelains, Brantford	Céramiques au silicate, conducteurs inoniques
Industrial Ceramics, Mississauga	Céramiques au silicate d'alumine et de zirconium
Ja-Coat, Kingston	Revètements plasmatiques
Vac-aero International, Oakville	Revètements plasmatiques
Boart Canada, Mississauga	Burins de forage pour roche dure à base de cermet
Kenrock Tools, Mississauga	Burins de forage pour roche dure refroidis à l'eau et à base d'alumine
Valenite Modco, Windsor	Outils à couper refroidis à l'eau
Centre de recherches pour la Défense, Ottawa	Céramiques pour moteurs
CANMET, Ottawa	Céramiques diélectriques et piézoélectriques, traitement des céramiques, propriétés thermiques des céramiques, céramiques pour la conversion énergétique

TABLEAU 3 (suite)

Activités sur les céramiques en Ontario

Organismes	Intérêts
CNRC, Ottawa	Semiconducteurs, pellicules minces, céramiques optiques, tribologie, céramiques pour moteurs, traitement des céramiques, composés, évaluations non destructives
McMaster University, Hamilton	Propriétés mécaniques, conducteurs inoniques, bioverre, traitement des céramiques, évaluations non destructives, céramiques piézoélectriques
University of Toronto, Toronto	Chimie des oxydes à haute température, technologie des fibres
Queen's University, Kingston	Conducteurs ioniques, céramiques piézoélectriques
Brock University, St. Catharines	Pellicules semiconductrices
University of Windsor, Windsor	Pellicules minces
University of Waterloo, Waterloo	Propriétés mécaniques, matériaux solaires
Fondation de recherche de l'Ontario, Mississauga	Technologie sol-gel, céramiques pour moteurs, revêtements plasmatiques, évaluations non destructives, conducteurs ioniques, céramiques piézoélectriques, nitrure de bore, céramiques vitreuses, technologies des fibres, matériaux composés

4) MARCHÉS INTERNATIONAUX POUR LES CÉRAMIQUES DE POINTE

Les études de marché menées au cours des dernières années prévoient que les ventes mondiales des céramiques de pointe vont doubler tous les 5 ou 7 ans.* Selon Freedonia Group Inc., les ventes de céramiques de pointe sont passées de 900 millions de dollars (américains) en 1977 à 5,4 milliards de dollars en 1986, ce qui correspond à une augmentation annuelle de 22 % (voir tableau 4). Ce taux de croissance élevé est principalement dû au fait qu'il s'agit d'une technologie en évolution rapide qui répond à une demande de l'industrie pour des matériaux pouvant remplacer les métaux, surtout en électronique qui représente près de 90 % des ventes de céramiques de pointe dans le monde entier (voir tableau 5). On s'attend toutefois à ce que le taux de croissance du marché ralentisse un peu dans les années 1990 avec la stabilisation de la phase de commercialisation. On prévoit des ventes de 12,2 milliards de dollars d'ici 1991 et de 24,5 milliards de dollars d'ici 1995.

Selon les prévisions, les États-Unis et le Japon vont rester en tête sur le marché des céramiques de pointe. Ensemble, on s'attend à ce qu'ils représentent plus de 80 % des ventes mondiales (voir tableau 6). Alors que les États-Unis tiennent la première place en ce qui concerne les dépenses de R & D, le Japon investira probablement davantage pour favoriser le côté technique et la commercialisation des céramiques de pointe.

Le marché canadien des céramiques de pointe va probablement connaître un accroissement et passer du niveau actuel qui est inférieur à 100 millions de dollars par an à un niveau compris entre 300 et 400 millions de dollars (américains) au cours des dix prochaines années. On s'attend à ce que le taux de croissance canadien soit l'un des plus élevés parmi les pays de l'OCDE. L'industrie canadienne n'a pas saisi les possibilités commerciales offertes par les céramiques fonctionnelles, et surtout électroniques, mais d'importants créneaux restent à exploiter.

---

* Source : Ceramic Bulletin, Volume 66, N° 12, 1987.

TABLEAU 4 : VENTES TOTALES DES CÉRAMIQUES DANS LE MONDE
1977 - 1995

	(Million) $
1977	905
1986	5408
1991	12200
1995	24500

variation en % = 1986/77 = +498
1995/86 = +353

Source : The Freedonia Group, Inc.

TABLEAU 5 : VENTES DE CÉRAMIQUES DE POINTE DANS LE MONDE PAR PRODUIT, 1977, 1986 ET 1995

	Million $			% du total		
Produit	1977	1986	1995	1977	1986	1995
Électroniques	813	4808	21375	89,8	88,9	87,2
Outils à couper	58	433	1625	6,4	8,0	6,6
Moteurs thermiques	0	Nég	675	0	0	2,8
Autres	34	167	825	3,8	3,1	3,4
Total	905	5408	24500	100,0	100,0	100,0

Source : The Freedonia Group, Inc.

TABLEAU 6 : VENTES DE CÉRAMIQUES DE POINTE DANS LE MONDE, PAR RÉGION, 1977-95

Région	Million $			% du total		
	1977	1986	1995	1977	1986	1995
Japon	398	2587	12100	44,0	47,8	49,4
États-Unis	362	2024	8650	40,0	37,4	35,3
Allemagne de l'Ouest	42	254	1100	4,6	4,7	4,5
Royaume-Uni	38	167	825	4,2	3,1	3,4
France	32	151	675	3,5	2,8	2,8
Autres pays d'Europe O.	15	90	400	1,7	1,7	1,6
Canada	10	72	375	1,1	1,3	1,5
Autres	8	63	375	0,9	1,2	1,5

Région	variation des ventes en %	
	1986/77	1995/86
Japon	+550	+368
États-Unis	+459	+327
Allemagne de l'Ouest	+505	+333
Royaume-Uni	+339	+394
France	+372	+347
Autres pays d'Europe O.	+500	+344
Canada	+620	+420
Autres	+688	+495
Total	+498	+353

Source : The Freedonia Group, Inc.

5) EFFETS PRÉVUS DES CÉRAMIQUES DE POINTE SUR L'INDUSTRIE EN ONTARIO

A. Fabricants et fournisseurs de moteurs automobiles

Pendant quelque temps, les pièces de moteur en céramique ont fait l'objet d'un développement intense par les principaux fabricants automobiles et quelques-uns des principaux fournisseurs de pièces. Au Japon, certaines pièces sont déjà produites à l'échelle commerciale, mais en quantité limitée. Toutefois, les moteurs automobiles ne seront vraisemblablement pas une utilisation importante des céramiques structurelles de pointe dans les 10 à 15 prochaines années. La mise au point de pièces fiables à faible coût, en grande quantité, à partir des céramiques de pointe pour les moteurs automobiles pose d'énormes problèmes. Les céramiques de pointe ne seront incorporées aux moteurs automobiles que pour certaines utilisations précises où leur résistance supérieure à la chaleur ou à l'usure et leur légèreté présentent des avantages évidents pour le fabricant et le consommateur. Dans l'immédiat, ces utilisations se limiteront à certaines pièces comme les composants de culbuteurs, les garnitures d'orifice d'échappement, les valves et rotors de turbocompresseur. Les ventes de ces composants correspondent à un faible montant. On estime que la demande en pièces automobiles en céramique ne sera que de 155 à 160 millions de dollars environ en Amérique du Nord (en dollars américains 1985) d'ici 1995.

L'introduction des pièces de moteur en céramique dans le secteur automobile entraînera probablement une perte de clientèle pour certains fournisseurs de matières premières en Ontario (par exemple, les aciers spéciaux pour les valves et les pièces finies).

Les pièces de moteurs en céramique seront importées à la fois sous forme de pièces individuelles et dans des moteurs ou véhicules complets. Comme ces pièces importées proviendront probablement du Japon ou d'Europe, on estime que les possibilités de compenser cet effet négatif ne seront pas nombreuses, au moins au cours des 10 à 15 prochaines années. Les fabricants d'automobiles asiatiques sont fortement intégrés en ce qui concerne la fabrication des pièces de moteurs et ont des programmes de recherche bien établis avec les fournisseurs de céramique. Ces programmes de développement sont en général plus avancés que ceux d'Amérique du Nord. Les fabricants de pièces automobiles d'Amérique du Nord auront donc sans doute quelques difficultés à pénétrer le marché asiatique des pièces de

moteurs en céramique et les mêmes remarques s'appliquent au marché européen.

L'effet négatif des pièces de moteurs en céramique en Ontario a également des chances d'être ressenti par les fabricants ontariens de pièces métalliques. Les fabricants actuels d'acier à valve et de métaux pulvérisés et de pièces métalliques risquent également de subir des répercussions négatives. Ces répercussions seront plus marquées sur les fabricants de pièces que sur les producteurs de matières premières, le tonnage d'acier et de métal pulvérisé utilisé dans la fabrication des rampes de culbuteurs étant relativement faible.

Du côté positif, il se peut que l'introduction des composants en céramique pour les moteurs favorise le développement de nouvelles entreprises, par exemple pour la fabrication de poudre de céramique et de matériel de traitement.

De plus, le CNRC s'est engagé à soutenir, à court terme comme à long terme, le développement des pièces de moteurs automobiles en céramique. On observe également ce type d'engagement dans le secteur commercial, chez TRW/Norton, Champion Spark Plug, Ford, Chrysler, GM et Cummings Engines.

B. Fabricants de turbines à gaz et de moteurs d'avions

Le développement dans ce secteur sera probablement plus lent que dans le secteur des moteurs automobiles. L'effet direct sur les turbomoteurs en Ontario sera limité étant donné la faible quantité de composants de turbomoteurs qui sont fabriqués dans la province. Les effets indirects risquent d'être plus importants pour les matériaux en superalliage à base de nickel. Toutefois, il ne semble pas que l'on observe des répercussions importantes avant l'année 2015.

C. Industries de transformation et fabricants d'équipement

L'utilisation des céramiques de pointe pour les composants d'équipement connaîtra probablement une croissance plus rapide que pour les moteurs thermiques et deviendra courante dans les 10 à 15 prochaines années. L'équipement en céramique peut avoir des répercussions considérables sur l'amélioration du rendement et la réduction des coûts de plusieurs industries de transformation, comme l'industrie chimique, les pâtes et papier, l'acier et les métaux non ferreux, à cause des économies de combustible et de la réduction des dépenses d'entretien dans les usines. En Ontario, l'utilisation généralisée de composants d'équipement en céramique :

pourrait permettre d'économiser jusqu'à 2 % des coûts totaux annuels de combustible, de réparations et d'entretien (environ 5 milliards de dollars). En supposant une période de récupération de 3 ans, les composants en céramique peuvent représenter un marché d'environ 30 millions de dollars.

A l'heure actuelle, la plupart des composants d'équipement et de machines pour l'industrie de transformation sont importés. Le développement et la commercialisation des pièces en céramique pour l'outillage des industries de transformation sont nettement plus avancés en Europe et au Japon qu'en Amérique du Nord. Si l'adoption de ces matériaux se généralise, il est probable que l'industrie canadienne importera les pièces finies.

D. Fabricants de roulements

Des études menées aux États-Unis ont estimé que le marché des roulements en céramique peut représenter environ 300 millions de dollars d'ici l'an 2000. Il est toutefois improbable que les fabricants de roulements actuels élargissent leur gamme de produits pour inclure des roulements en céramique. Les techniques de fabrication de ces produits sont très complexes et l'évolution du marché dans ce secteur industriel rend extrêmement difficile l'arrivée de nouveaux concurrents.

E. Industrie des outils et matrices à couper

Comme pour le secteur de l'équipement de transformation, l'utilisation des céramiques de pointe pour la fabrication des outils et matrices à découper connaîtra probablement une croissance plus rapide que celle des moteurs thermiques. Le principal effet de cette utilisation devrait être d'améliorer le rendement des secteurs de l'outillage et du refoulage, de réduire la demande d'acier provenant des aciéries pour les outils et matrices et d'augmenter les importations d'outils de matrices à découper en céramique.

Il est improbable, au moins à court terme, que se développe en Ontario une importante industrie des outils à couper et des matrices d'extrusion en céramique, la capacité étrangère étant suffisante pour que l'on puisse écarter l'éventualité du développement d'une base canadienne d'approvisionnement. Toutefois l'Ontario pourra peut-être participer à la fabrication des outils et matrices par le biais de la production des poudres.

F. Industrie métallurgique

Les céramiques de pointe ne constituent pas une menace

importante pour les industries métallurgiques de production et de fabrication dans les 10 à 15 prochaines années. Pour de nombreuses utilisations majeures, les métaux continuent de présenter un avantage assez important sur le plan des coûts par rapport aux céramiques de pointe. Par exemple, le coût de fabrication des composants en céramique de pointe, en particulier pour les moteurs automobiles, est estimé à 100 $-150 $ américains par kg de composant fini alors qu'il n'est que de 10 $-15 $ américains par kg pour les composants métalliques. Les matériaux composés métalliques à base de fibres céramiques (ou de substrats particuliers) peuvent améliorer considérablement les qualités des métaux actuels. L'utilisation plus étendue de ces composés peut ouvrir de nouveaux marchés pour les producteurs de métaux traditionnels.

6) POSSIBILITÉS POUR L'ONTARIO

Le marché canadien des produits en céramique de pointe peut atteindre entre 300 et 400 millions de dollars américains au cours des dix prochaines années. Cependant, presque toutes les possibilités du marché portent sur les céramiques structurelles. À quelques exceptions près, qui ne sont pas négligeables, l'industrie canadienne est passée à côté des possibilités offertes par le marché des céramiques fonctionnelles, essentiellement des céramiques électroniques, mais il se peut qu'il reste quelques créneaux assez importants.

On ne s'attend pas à ce que les utilisations dans l'industrie automobile soient dominantes pour les céramiques structurelles au cours des 10 à 15 prochaines années et les possibilités dans ce secteur se limiteront presque exclusivement aux petites pièces non rotatives des moteurs à essence et des moteurs diesel et à un nombre très limité de rotors de turbocompresseurs en céramique. D'autres pièces structurelles comme les composants d'équipement de transformation et les poudres et céramiques fonctionnelles spécialisées offrent des possibilités plus importantes et dans un avenir plus proche. En particulier, l'industrie ontarienne occupe une bonne position par rapport à la concurrence pour développer ses capacités d'approvisionnement des produits suivants :

- Poudre de carbure de silicium bêta
- Poudre de nitrure de silicium
- Poudre de nitrure de bore

- Poudre de nitrure d'aluminium
- Produits de frittage comme la poudre d'oxyde d'yttrium
- Silicates pour les produits structurels et électriques
- Céramiques piézoélectriques et produits pour capteurs
- Matériaux semiconducteurs comme l'arsénide de gallium
- Équipement pour les essais non destructifs
- Équipement sélectionné pour l'industrie de transformation
- Pièces automobiles sélectionnées en céramique structurée

Par rapport à la concurrence, l'ontario présente des avantages qui sont liés à : un taux de change favorable, des coûts énergétiques relativement bas, l'existence sur place de spécialistes dans certains domaines clés (par exemple le CNRC et la ORF pour les pièces céramiques de moteurs automobiles et l'équipement pour essais non destructifs, Electrofuel Manufacturing pour le nitrure d'aluminium ainsi que certains producteurs de nitrure de bore), et la disponibilité de matières premières (ex : silice pure, quelques Terres rares pour la fabrication de produits de frittage et de matériaux semiconducteurs).

7) OBSTACLES AU DÉVELOPPEMENT

Voici certains des principaux obstacles au développement d'une industrie des céramiques de pointe en Ontario ou au Canada.

- Actuellement, les coûts de fabrication des céramiques sont trop élevés et la fiabilité des matériaux est trop faible pour entrer en concurrence directe avec les métaux. Les coûts des poudres et des pièces finies doivent diminuer considérablement avant que les céramiques puissent être généralement acceptées sur le marché. Les composants doivent devenir beaucoup plus fiables, plus économiques et faciles à utiliser.

- Le développement technologique est très rapide dans d'autres pays et le Canada a pris du retard dans la mise sur pied de programmes nationaux de recherche sur les céramiques de pointe. Cela est particulièrement vrai en ce qui concerne la recherche appliquée sur les poudres de céramique et les techniques de traitement des composants.

- Il manque au Canada une solide base dans le cadre de l'industrie ou de la Défense pour le développement des matériaux et procédés liés aux céramiques de pointe. Dans d'autres pays, la recherche et le développement bénéficient d'un soutien considérable de la part de l'industrie ou de la Défense. Actuellement, la base industrielle canadienne est trop faible pour soutenir l'adoption des céramiques à grande échelle. Tant qu'un nombre plus grand de producteurs de fibres de céramique et de poudres ne pénètrent pas sur le marché, les principales industries de consommation hésiteront, pour des raisons stratégiques, à s'orienter vers une utilisation à grande échelle des composants en céramique. Ces compagnies ne souhaitent pas devenir trop dépendantes d'un petit nombre de fournisseurs de matières premières. De plus, le développement des produits dans le secteur des céramiques de pointe est très coûteux et de nombreuses compagnies canadiennes ne peuvent se permettre de financer ce développement.

- Le fait que les principaux marchés d'utilisateurs et de fabricants de composants en céramique soient à l'étranger, et que le développement des céramiques de pointe fait l'objet d'un appui national dans de nombreux pays, est un autre obstacle au développement d'une industrie des céramiques de pointe au Canada.

- Les compagnies canadiennes ont été assez lentes à obtenir des licences alors que les compagnies américaines se sont montrées très actives pour établir des accords de licence et des entreprises en coparticipation avec des compagnies japonaises et européennes. Alors que dans la plupart des cas ces accords font intervenir le Canada et les États-Unis, les lois sur les brevets d'invention ont été modifiées aux États-Unis pour que soient inclus dans les brevets de procédés les produits fabriqués à partir de matériaux dérivés du procédé breveté. Cela peut représenter un obstacle non tarifaire pour les compagnies canadiennes qui vendent des produits finis aux États-Unis.

- Au Canada, la technologie des céramiques de pointe est encore très peu connue. La plupart des compagnies canadiennes, à l'exception des fabricants de céramiques de pointe, ne sont pas au courant des développements réalisés dans ce domaine.

- L'utilisation des céramiques de pointe est gênée par l'absence d'une base de données techniques pour les poudres céramiques et les composants finis.

Actuellement, les États-Unis, le Japon et l'Europe s'efforcent de regrouper des données sur les propriétés techniques des poudres et composants céramiques et le Canada aura besoin d'avoir accès à ces données s'il veut étendre ses capacités.

- Le fait que la conception industrielle intervienne très peu dans les opérations canadiennes de nombreuses industries de consommation (par exemple, l'industrie automobile, l'outillage et l'équipement) compromet également le développement d'utilisations des céramiques en Ontario. L'établissement des liens nécessaires entre les fournisseurs de pièces et les utilisateurs devient très difficile pendant la phase initiale du développement s'il n'y a pas une responsabilité interne de conception industrielle au Canada. Et si ces liens n'existent pas, les fournisseurs et utilisateurs de céramiques au Canada seront désavantagés par rapport à leurs concurrents américains, européens et japonais.

- Les techniques de traitement et l'équipement sont encore limités. Il est nécessaire de réaliser des progrès technologiques permettant la fabrication et le traitement d'une vaste gamme de poudres et d'équipement moins coûteux pour la fabrication des composants.

- On observe un manque d'ingénieurs de conception ayant des connaissances dans le domaine des céramiques et de la conception mécanique. Tant qu'il n'y aura pas davantage d'ingénieurs ayant des connaissances spécialisées sur les propriétés et performances des céramiques de pointe, l'utilisation de nouveaux matériaux pour les composants structurels restera limitée.

8) QUELQUES CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR PROMOUVOIR LE DEVELOPPEMENT DE L'INDUSTRIE DES CERAMIQUES DE POINTE

A. Amélioration de l'information technologique

Les possibilités offertes et le défi posé par les céramiques de pointe sont mal connus au sein de l'industrie ontarienne. Il est nécessaire d'améliorer le niveau des connaissances techniques et commerciales en ce qui concerne les matériaux et produits faisant intervenir les céramiques de pointe.

B. Établissement de liens stratégiques

La technologie et le marché des céramiques de pointe évoluent rapidement. Pour exploiter ces marchés et développer les

techniques nécessaires, des liens stratégiques se forment entre compagnies aux États-Unis, au Japon et en Europe de l'Ouest. Pour réussir à développer en Ontario une base spécialisée dans les céramiques de pointe, il est nécessaire de participer à ces activités internationales.

C. Renforcement des activités de recherche et développement

Les activités de recherche technologique et de développement des produits dans le domaine des céramiques de pointe sont coûteuses. De nombreuses compagnies ontariennes n'ont pas les ressources humaines ni financières nécessaires pour soutenir des travaux de recherche efficaces. Il est essentiel de pousser la recherche générique au niveau universitaire et d'étendre les programmes techniques et scientifiques sur les céramiques dans les universités ontariennes.